エネマネハウス 2014 における 『CITY ECOX- 都市型集合住宅 の ZEH プロトタイプ』の提案 と実証

A PROPOSAL AND PRACTICE OF “CITY ECOX”, A ZEH PROTOTYPE OF CITY APARTMENTS, IN ENEMANE HOUSE 2014

石綿麻矢 — * 1 富山創樹 — * 1
米澤星矢 — * 1 北潟寛史 — * 1
北 奈苗 — * 1 讃岐将嗣 — * 1
小林美子 — * 1 竹村由紀 — * 2
前 真之 — * 3 清家 剛 — * 4
吉田元紀 — * 5 南 裕介 — * 5
近田智也 — * 5

Maya ISHIWATA — * 1 Souki TOMIYAMA — * 1
Seiya YONEZAWA — * 1 Hiroshi KITAGATA — * 1
Nanae KITA — * 1 Masashi SANUKI — * 1
Miko KOBAYASHI — * 1 Yuki TAKEMURA — * 2
Masayuki MAE — * 3 Tsuyoshi SEIKE — * 4
Motoki YOSHIDA — * 5 Yusuke MINAMI — * 5
Toshiya CHIKADA — * 5

キーワード:
都市型集合住宅, ゼロ・エネルギーハウス, フレキシビリティ,
潜熱蓄熱材, 太陽光発電

Keywords:
City apartment, Zero energy house, Flexibility, Phase change
material, Photovoltaic power generation

ENEMANEHOUSE2014, a contest in which 5 universities design, construct, and measure Zero-Energy-Houses (ZEH), was held as a part of a project by Agency for Natural Resources and Energy. The University of Tokyo established a consortium with various enterprises and proposed a ZEH prototype of city apartment called “CITY-ECOX”. CITY-ECOX has flexible spatial structure and technologies that can be customized according to the climate of a construction site and lifestyles of house owners. A real size CITY-ECOX was built in Tokyo, January 2014, and its environmental performance was measured. This paper shows design of CITY-ECOX and result of its operation.

1. はじめに

2014年1月、経済産業省資源エネルギー庁の事業の一環としてネット・ゼロ・エネルギー・ハウスの標準化に係る調査・実証事業¹⁾(エネマネハウス 2014)が開催された(表1)。「2030年の家」というテーマのもと、エネルギー、ライフ、アジアの3つのコンセプトを持ったネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(以下 ZEH)の提案を公募し、審査を通過した5大学が実際に住宅を建設、そのコンセプト・デザイン・環境性能を競う事業である。東京大学と参加団体、協力企業からなる東京大学コンソーシアムは「CITY ECOX(シティーエコックス)」と名づけた都市型集合住宅の ZEH プロトタイプの提案・建設を行なった。本稿ではその提案概要および実際に建設した住宅(以下、実証住戸)の設計について説明を行う。また実証住戸の室内環境およびエネルギー収支の実測結果から、実証住戸の省エネルギー性能について考察を行い、「2030年の家」というテーマのもとで考案した技術の、今後の実用化に向けた課題や可能性を考える。

表1 エネマネハウス2014開催スケジュール

期間	内容
2013年7月8日～8月28日	採択事業者の公募
2013年9月13日	採択事業者の公表、事業の開始
2014年1月8日～21日	施工期間
2014年1月22日～28日	計測期間
2014年1月29日～31日	一般公開期間
2014年2月1日～6日	解体・撤去期間

2. CITY ECOX 概要

2-1. 設計コンセプト

「2030年の家」を考えるにあたり、日本、またアジア諸国において今後継続されると予想される都市部への人口集中を考慮し、都市型集合住宅を設計対象とした。また多様化するライフスタイル、変化する気候・都市環境への対応の必要性から「フレキシビリティ(柔軟性・適応性)」を CITY ECOX のコンセプトとして据えた。ここで CITY ECOX という名称について、CITY は都市を、ECO は環境配慮を、X は Flexibility を意味している。

2-2. フレキシビリティを支える空間構成

CITY ECOX は中央のセンターフレックスゾーン(以下 CF ゾーン)とその両側の個室や水まわり等を納めたサイドコアゾーン(以下 SC ゾーン)から構成される(図1)。SC ゾーンに構造・設備要素を集約することで、CF ゾーンを日射・風・コミュニティなどの外部環境の取り込み方を気候や居住者のライフスタイルに合わせて自由に調整可能な空間としている。

2-3. フレキシビリティを支える3つの主要技術

CITY ECOX は上記空間構成に対し、図1に示す3つの主要技術(ヒートチャージシステム、エアマネジメントシステム、可動 PV ルーバー)を導入することで環境配慮だけでなく、より空間の柔軟性を高め

本稿は既発表論文^{2),3)}の内容を再構成・加筆したものである。

¹⁾ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 修士課程
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 工学部一号館105号室)

²⁾ 東京大学大学院新領域創成科学研究科 修士課程

³⁾ 東京大学大学院工学系研究科 准教授・博士(工学)

⁴⁾ 東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授・博士(工学)
⁵⁾ 積水ハウス(株)

¹⁾ Graduate Student, Graduate School of Eng., Univ. of Tokyo

²⁾ Graduate Student, Graduate School of Frontier Science, Univ. of Tokyo

³⁾ Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

⁴⁾ Assoc. Prof., Graduate School of Frontier Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

⁵⁾ SEKISUI HOUSE, LTD.

ることを目標とする。技術の詳細については後述する。

2-4. 集合住宅としての展開

このプロトタイプ住戸を縦横に繋げることで、低層から高層まで多様な集合住宅モデルに展開し、敷地や周辺環境に応じて様々な組み合わせを可能とする。全体としては、住戸間を断熱し各住戸の独立性を高めることで、ヒートチャージシステムや通風を利用したパッシブな暮らし方を好む人、エアマネジメントシステムによる空調制御を十分に行なうアクティブな暮らし方を好む人、などの多様な温熱感覚や省エネ意識をもつ人々が一つの集合住宅に同居できるシステムとした。また、構造・設備から解放されたCFゾーンを、熱帯地域では半屋外空間としたり、寒冷地域では外皮に更なる断熱性能を付加するなど、様々な気候帯を有すアジアへの展開も可能である。

3. 実証住戸__東京におけるCITY ECOXの実践

2014年1月に実際に建設した実証住戸では、CITY ECOXのケーススタディとして東京を敷地とした「温暖地3階建モデル」を設計し、その最上階中間住戸1戸を切り取る形で会場に建設した。実証住戸概要を表2、設備概要を表3、外観を図2、平面パースを図3に示す。以下では設計概要と計測結果に基づいた実証住戸の性能把握を行う。なお計測を行なった2014年1月23日～28日(以下断りがない限り日付は2014年とする)の外部気象条件を図4に示す。なお28日の最高気温が26℃まで上昇しているが、これは誤ってセンサー部に人が触れてしまったことなど人為的な要因と考えられる。

3-1. 基本計画

2030年に増加されると予想されるアクティブシニア夫婦を居住者と設定し、東側SCゾーンに夫婦それぞれの個室を、西側には水回りを配置し、中央のCFゾーンは北側を共用廊下との緩衝空間、南側を夫婦の主居室とした。CFゾーンを仕切る東西方向の4カ所の建具および窓の開閉の組み合わせにより、パブリック空間とプライベート空間の境界が可変な設計とし、都市型集合住宅におけるコミュニティのあり方について提案を行なった。

今回「温暖地」を想定したCFゾーンの設計のメインコンセプトは、自然エネルギーのパッシブ利用である。冬期の日射取得・夏期の通風が可能のように大開口とし、その開口が冬期において、温熱環境に対し不利にならないよう高断熱仕様とした。高断熱の仕様は、室内の快適性を自然エネルギーのパッシブ利用だけで補うことが出来ない場合に、使用する冷暖房の効きを良くするという目的にもつながる。大開口ならではの開放感を持ちながら、高断熱の窓により内部の温熱環境も守る今回のCFゾーンの設計は、東京のような温暖地に適したモデルであると考えられる。

3-2. 主要要素技術詳細とその効果

CITY ECOXにおいてコンセプトとしたフレキシビリティを強化する、主要要素技術の3つについて説明する。

3-2-1. ヒートチャージシステム

1) 設計主旨と概要

ZEH達成のため、自然エネルギーを最大限利用することを考えた。省エネルギーの観点から窓を透過して室内に入射する日射を利用するダイレクトゲインが注目されているが、ダイレクトゲインのみで快適な室温安定性能を得るには、窓からの日射取得性能、取り入れた熱を蓄えるための蓄熱性能、蓄えた熱を逃さないための断熱性能

図1 CITY ECOXの基本要素

表2 実証住戸概要

敷地	東京都江東区東雲2-13東京ビッグサイト東雲臨時駐車場
躯体構造	木造
室内床面積	70m ² (主居室35m ² ・個室・水回り17.5m ² ×2) ※緩衝空間・共用廊下・バルコニーは除く
天井高	主居室2.5m・個室・水回り2.3m
性能	Ua値0.33W/m ² ・K、C値0.7cm ² /m ²

表3 実証住戸設備概要

名称	種類	容量
太陽光発電	屋根面設置	薄膜シリコン型 2.06kW
	住戸前設置	単結晶シリコン型 1.44kW
燃料電池ユニット	固体高分子型	0.7kW
蓄電池	リチウムイオン電池	4.65kWh
太陽熱集熱器	住戸前設置	- 4m ²

図2 実証住戸外観

図3 実証住戸平面パース

図4 計測期間中外部気象条件

の3つのバランスを考える必要がある。

a. 日射取得性能

冬期の日射取得と断熱性能のバランスを兼ね備え、南面開口には日射透過率(可視光+近赤外線)0.511、U_g 値 1.34W/K・m²の日射取得型 Low-E ガラスを採用した。

b. 蓄熱性能

表4に示す物性の潜熱蓄熱材を、表5に示すように敷設した。これは潜熱蓄熱材の利用手法から次の3通りに分類することが出来る。

■日射熱の直接的な蓄熱

先述した自然エネルギーの最大利用の観点から、CF ゾーンと SF ゾーンの南側は、ダイレクトゲインによる熱を直接潜熱蓄熱材に蓄熱する方式とした。潜熱蓄熱材の発熱を接触面に近づけ温かさを感じやすくするために、床材を掘り込みそこに潜熱蓄熱材を敷設するという施工上の工夫も行なった(図5-a)。また開口面積が大きい主居室については、日射取得が他敷設箇所よりも多く見込まれるため、床材の下に更に根太を設置し、その間に潜熱蓄熱材を敷設して蓄熱容量を確保した(図5-b)。床、天井(図6)のほぼ全面に、合計570kg程度敷設することで、約100MJの潜熱量を確保した。なお室内温度を決定する重要な要素である相変化温度は、筆者らの過去の研究⁴⁾から、最も冬期の快適性に貢献するとされる20℃付近とした。

■透光型蓄熱建具

さらに今回、潜熱蓄熱材と透明断熱材を10mm厚の中空ポリカーボネート板に充填しそれを建具の表裏の面材とすることで、蓄放熱面の向きを制御できる「透光型蓄熱建具」を考案した(図7)。日中潜熱蓄熱材面を屋外に向けて蓄熱させ、夜間は潜熱蓄熱材面を室内に向けることで室内に放熱させる。裏面は断熱材面であり、ためた熱を逃さない仕組みとなっている。なお透明断熱材とはエアロゲルとして知られる素材で、そのU値は8mm厚の場合1.8W/m²・Kである。

■床暖房パネルとの併用

最後にダイレクトゲインのように日射の直接的な取り入れが困難な北側寝室においては、温水式床暖房に潜熱蓄熱材を組み合わせた床暖房を設置した。住戸南側壁面に垂直設置した太陽熱集熱パネルで集熱した不凍液を床暖房パネルに循環させ、床暖房パネルの直上に敷設した潜熱蓄熱材に一度蓄熱させてから、その熱を室内に放熱させる。このように潜熱蓄熱材を介することで、日中太陽熱集熱パネルで集熱した熱を潜熱蓄熱材に蓄熱させ、夜間にかけて徐々に放熱させることが可能になり、暖房負荷の削減と快適性の向上が可能となる。なお、集熱パネルにより高温の不凍液が循環することが予想されたため、この部位にのみ他の部位より5℃程度高い25℃付近で相変化する潜熱蓄熱材を使用した。

c. 断熱性能

本住戸の躯体は戸境壁に120mmのA種押出法ポリスチレンフォーム3種b(外壁U値0.252W/K・m²)、床下には257mmのA種押出法ポリスチレンフォーム3種b(床U値0.141W/K・m²)、天井裏には300mmの高性能グラスウール16K(天井U値0.124W/K・m²)による断熱を行った。また北面開口はLow-Eダブルガラス(Low-E4-Ar16-FL4)にダブルガラスによる内窓(FL4-Ar14-FL4)を取り付けた4重ガラス窓によりU_g 値0.77W/K・m²、U_f 値1.12W/K・m²を実現している。この結果「住宅の省エネルギー基準」⁵⁾(本事業敷地である6地域の場合)におけるU_a 値0.87W/K・m²を上回るU_a 値0.33W/K・m²を実現した。

表4 潜熱蓄熱材物性値

	相変化温度 ℃	潜熱量 kJ/kg	熱伝導率 W/m・K		比熱 kJ/kg・K		密度 g/cm ³	
			固相	液相	固相	液相	固相	液相
Aタイプ	加熱時	20-23	0.4	0.2	1.9	2.6	0.9	0.8
	冷却時	20-22						
Bタイプ	加熱時	25-27	0.4	0.2	1.7	2.4	1	0.8
	冷却時	24-25						

表5 潜熱蓄熱材敷設位置と内訳

位置	部位	重量	潜熱量	タイプ
		kg	MJ	
主居室(35m ²)	天井	298	51	A
	床材掘り込み	41	7	A
	根太下	56	10	A
南側個室(7.5m ²)	天井	75	13	A
	床材掘り込み	11	2	A
水回り南側(10m ²)	天井	75	13	A
	床材掘り込み	6	1	A
北側個室(8.75m ²)	床材掘り込み	10	2	B
	(床暖房パネル併用)			
合計		571	97	-

図5 床敷設方法

図6 天井敷設方法

図7 透光型蓄熱建具とその仕組み

2) 計測概要と結果

■日射取得、日射蓄熱、断熱性能による効果

室温変動と天井に敷設した潜熱蓄熱材内部温度、熱流の実測を行った。潜熱蓄熱材ゲルパックの内部に温度センサーを埋め込んだものをCFゾーンの天井の中心部に南窓面からの距離500、1500、2500、3500、4500mmの距離に、熱流計は南窓面から1500mmにある潜熱蓄熱材の室内側表面に貼り付けた。結果を図8、9に示す。なお図8の潜熱蓄熱材内部温度の1500mm、2500mm、3500mm、4500mmにおける測定結果はほぼ同じ挙動を示したため、4点の平均値を記載した。天井に敷設した潜熱蓄熱材については熱流計の挙動から、水平面全天日射量が少ない1月25日、26日においては蓄えていた熱を放熱している様子が確認できる。1月25日の夜においてはエアコンによる暖房稼働させ、再度潜熱蓄熱材に蓄熱させた。なお、1月23日や28日などの晴天日では南窓面からの距離が500mmと近い位置にある潜熱蓄熱材の内部温度は日射が当たることで急激に温度が上昇していることが分かり、こうした場所では蓄熱量を増やすなどの工夫を要すると言える。室温変動については外気温が夜間3℃近くまで低下した1月23日や24日であっても、潜熱蓄熱材による蓄熱が効果を発揮し、室温が相変化温度帯の20℃付近に保たれている。

■透光型蓄熱建具の効果

図10の熱画像から表裏の表面温度の差が明確に表れており、断熱材面での断熱、蓄熱材面での蓄熱が行われていることが確認できた。

■床暖房併用潜熱蓄熱材

図11に1月24日～28日の5日間の床暖房供給熱量と不凍液循環温度、個室の室温を表す。床暖房供給熱量の計算に必要な床暖房パネルの流量L/secも別途計測を行なった。床暖房パネル直上の潜熱蓄熱材表面温度推移を見ると、27日のような快晴日には、まず午前10時ごろに温度上昇が緩やかになっており、潜熱域における蓄熱を行っていることが分かる。28日は16時に床暖房の電源を切ったが、日没後から深夜まで潜熱蓄熱材が28℃を維持して相変化域での放熱を行い、室温維持に貢献した。

3-2-2. 可動PVルーバー

1) 設計主旨と概要

1日の太陽の動きに合わせた太陽光発電パネルの縦軸回転(図12)、季節による太陽高度の違いに応じたパネルの架台面の滑りだし(図13)の2種類のパネルの動きにより、日射を鉛直で受け止めることで年間を通じて発電効率を高めた太陽光発電システムである。戸建住宅と比較して一住戸あたりの屋根面積を十分に確保する事が難しい集合住宅において、太陽光を有効活用する方法として壁面を利用したシステムを提案した。展示期間中は1月の太陽高度に合わせて、60度の傾斜で合計1.4kWのパネルを設置した。

発電効率の最適化に加えて、可動PVルーバーは室内への日射取得量の調整も可能な設計とした。太陽高度が高い夏は、可動PVルーバーが滑り出すことで室内に入る日射を遮蔽し、ベランダに日陰を形成する。太陽高度が低い冬は、可動PVルーバーを立ち上げることで発電量を最大化しつつ、室内への入射日射が遮られない工夫をした。

なお、今回は大会のルールにより各住戸につき定格容量3.5kWまで太陽光発電パネルの設置が認められていたため、可動PVルーバーに加え、屋上に傾斜角5度で合計2.1kWの太陽光パネルを設置した(以下屋根置きPV)。可動PVルーバーには単結晶タイプ、屋根置きPVは薄膜シリコンタイプを使用した。

2) 計測概要と結果

今回は電力データをHEMSにより収集した。しかしPVの発電量は一括で計測され各種の発電量に分割することが出来ない。そこで、1月23日の10～11時の晴天の時間帯に、計測のために一時的に可動PVルーバーと屋根置きPVを片一方ずつHEMSにつなぎ各々の発電量を比較した。可動PVルーバーは定格容量1.4kWに対し1.3kWの発電量、屋根置きPVは定格容量2.1kWに対し1.2kWの発電量であり、定格容量に対する発電量はそれぞれ93%、48%となった。これより傾斜角度の最適化が発電効率に大きな影響を与えることを確認した。

3) 可動PVルーバーの効果の推計

2)において、日射を鉛直に受け止める効果を、瞬時値として確かめた。ここでは、拡張アメダスの標準気象データと、NEDOの日射量データベース閲覧システム⁶⁾により求めた東京都東京の受照日射量の比較から、その効果を確かめた(図14)。年間積算値は年間最適傾斜角が1364kWh/m²・年、各月毎の最適傾斜角にした場合1432kWh/m²・年、そこに縦軸追尾を加えた場合1695kWh/m²・年となり、各月の最適傾斜角への滑り出しにより5.0%、更に縦軸回転による日射追尾により24.3%受照日射量が増加する。ただし、この試算では縦軸回転時の太陽光発電パネル間相互の影の影響は考慮しておらず、また実稼働時においては、軸回転の駆動に必要な消費電力を考慮する必要がある。10月や12月においては、受照日射量の大小が「年

図8 天井面潜熱蓄熱材の蓄放熱量・内部温度、外気温の時刻推移

図9 天井面潜熱蓄熱材の蓄放熱量日積算

図10 透光型蓄熱建具表裏の温度差

図11 太陽熱床暖房

図12 太陽方位に合わせたパネルの縦軸回転イメージ図

図13 太陽高度に合わせたパネル架台面の滑り出し

図14 傾斜角の最適化・縦軸追尾の有無による太陽光発電パネル月積算受照日射量の推定値比較(東京の場合)

間最適傾斜角<各月の最適傾斜角<各月の最適傾斜角+縦軸追尾」という傾向と合致していないが、これは、10月、12月の曇天率が高く、日射量が少ないため天空光が優勢であるためと考えられる。今後傾斜角・縦軸回転については、季節だけでなく日々の天候に合わせて角度を変更させるなど、運用上の工夫の余地があることを確認した。

3-2-3. エアマネジメントシステム (AMS)

1) 設計主旨と概要

日本では現在ルームエアコンが主流であるが、各室1台ずつの設置による低負荷運転では効率が悪いという問題点が指摘されている。そこで今回エアマネジメントシステム(以下 AMS)を導入した。これは、空調機一台で住戸全体の換気・空調・加湿をまかなうシステムである。設置したセントラル空調システムの概要を表6に、施工時の様子を図15、AMSの概略図を図16に示す。空調機本体は水回りの天井裏に設置されている。空調機は主居室と個室、水回りを仕切る壁体の頂部とφ150のダクトで接続されている。間仕切り壁の内部は中空チャンバー(H×W×D=2500mm×985mm×163mm)となっており、空調機から送られてくる暖気はチャンパー内を通過して下部に設置されたグリルから吹き出す。チャンパー内を通過する暖気によって壁体の表面温度が上昇し、放射による暖房効果も期待できる。冷房時は、ダンパー制御により壁面に冷気を通さず間仕切り壁上部に設置されたグリルから吹き出すことを想定している。なお放射壁となる間仕切り壁の仕上げは12mmの合板ヘクロス仕上げである。

2) 計測概要と結果

1月31日夜間にAMSの運転実験を行った。全室暖房を行い、主居室とSCゾーンを仕切る建具を閉めたうえで、主居室側の温熱環境を測定した。なおSCゾーン側の吹出口は開放されており主居室と同様の暖気が吹き出すため、主居室とSCゾーン間の熱の移動は小さいと考える。実験前に20時から窓開けによる換気を行い室温を15℃に低下させ、21時に窓を閉め、22時に運転を開始、翌朝9時まで測定した。温度分布を確認するため、温度センサーを主居室に2カ所(図17)に、上下温度分布を計測するためそれぞれ床面からの高さ100、625、1250、1825、2400mmに設置した。また、AMS間仕切り壁の内部(頂部と下部の2箇所)にもセンサーを設置した。また、南北の窓面にはハニカム構造・断熱スクリーンを下し、実証住戸の最大の断熱性能下で実験を行なった。

図18に各計測点における平均温度推移と空調機の消費電力を示す。設定温度20℃以下になると暖房運転を行う設定としたところ、計測中に2度、合計3時間の運転が行われた。これは、Q値1.33W/m²・Kという高い断熱性能をもつ住戸において、短期の運転で室温が設定値に達するためである。なお電力積算値は運転時2.7kWh、待機時でまた、2.0kWhであった。また、各吹出口で計測された空気速度は1~2m/s、各AMS壁のグリルの開口面積は0.62×0.022m²であることから計算したエアコン給気量は376.6m³、還気量は352.7m³となり、給気量と還気量の差が小さく、空間の気密の良さが表れた。この気密の良さも、AMSの効果に寄与していると考えられる。

図19にAMS壁内部温度と表面温度の推移を示す。壁体内では1月31日23時に上部と下部で北側の壁では15℃、南側の壁では10℃の差がみられた。これより熱量にして壁体を通るうちに各84[W]、120[W]の熱が主居室側の壁体を温め、放射環境の向上に寄与していると言える。なおこの熱量の差は、AMS間仕切り壁の位置によって、

表6 空調機仕様

エアコン(暖房使用時)		顕熱交換器 (加湿換気強/中/弱・普通換気)	
定格消費電力	1.88kW	風量	120/90/60.60m ³ /h
定格能力	6.3kW	消費電力	350/130/75.30W

図15 AMS施工中の様子

図16 AMS概略図

図17 温度センサー位置と吹出口位置

図18 各計測点における平均温度とエアコン消費電力

図19 AMS壁内部温度・表面温度

図20 AMS運転開始から2時間の室表面温度の変化

図21 S点における上下温度分布

図22 C点における上下温度分布

壁体内を通る空気速度が異なるためと思われる。図20にエアコン運転開始後2時間の室表面温度の変化を熱画像で示す。運転開始後10分後からAMS壁体が暖まっている様子が確認できる。開始後30分程

度で壁体表面温度は 25℃を超えるが、間仕切り壁以外の室表面温度は 20℃程度であった。図 21, 22 に S 点, C 点における上下温度分布を示す。吹出口の付近に設置したセンサー(計測点 S)の上下温度分布(図 21)を見ると、吹出す暖気が直接当たる床上 100 mm の位置では温度が高いが、その他の高さにおいては温度差が殆ど見られない。室中央に設置したセンサー(計測点 C、図 22)では、壁体下部から吹き出す暖気が届かないためか、床上 100 mm のみ温度が低い、その他では上下温度分布は見られない。以上より、吹出口を低い位置に設置し、3 ヶ所から室内に吹出すことで、冷気の層が形成されやすいエアコン空調の問題を解決し、上下温度分布の小さい良好な温熱環境を形成可能な対流式空調を実現していることを確認した。

3-3. 住戸全体での運用パフォーマンスと計測結果

以上の各要素技術による設計意図とその効果を検証したが、これらの要素が集合した実証住戸における運用パフォーマンスについて述べる。冬期における ZEH を達成するため、太陽熱と潜熱蓄熱の組み合わせによる無暖房化を目指し、また燃料電池を定格出力で運転することで、高効率で住戸内負荷と給湯負荷を補い、可動 PV ルーバーと屋根置き PV の発電量と合わせて系統からの買電量を最小化するエネルギー計画とした。また一次エネルギー消費量の削減だけでなく、蓄電池を用いてエアコン運転時の立ち上りの負荷を賄うことで、系統電力に対するピークカットも意図した。

図 23 に実測期間 1 月 25 日～27 日の一次エネルギー収支を示す。系統電力とガスの消費量から、人体発熱模擬負荷装置の消費電力量、家電等を想定した模擬負荷装置の消費電力量(700W 一定値)、および太陽光発電量を除外した正味の 1 次エネルギー量を算出した(図 23-b)。1 月 25 日と 26 日は日射量に恵まれなかったため、正味の消費 1 次エネルギーはそれぞれ 58.5MJ と 39.7MJ となったが、天候が良く PV の発電量が大きかった 1 月 27 日は、43.7MJ のプラスエネルギーとなり、給湯・暖房・換気用途に限定した ZEH を達成した。これは、図 24 に示す消費一次エネルギー内訳からも分かる通り、太陽熱と潜熱蓄熱の組み合わせにより建物熱負荷が抑えられ、エアコンをほぼ使用しなかったことが大きな要因である。

図 25 に実測期間中の電力供給量の推移を示す。夜間は系統電力、日中は定格発電の燃料電池と PV の発電で電力負荷を賄っていることが確認できる。図 26 に電力消費の用途ごとの推移を示すが、常時約 700W の模擬負荷(家電や照明用途を想定)、100～200W の人体発熱の模擬負荷の消費電力が生じている。また、顕熱交換器は 25 日の午前中は加湿モードでの運転で 160～200W を消費していたが、以降は換気モードで運転し常に 30W を消費している。室温維持のため、3 日の間 4 回短時間のエアコン運転を行なったが、1200W 程度の立ち上りの負荷は蓄電池または太陽光発電からの放電でまかない、系統に対するピーク負荷を軽減できていることが確認できた。

4. あとがき

「2030 年の家」というテーマのもと、今後の実用化が期待できる技術を搭載した実証住戸を提案した。省エネ性能に関しては計測期間中の計測において ZEH を達成するなど、高い環境性能を得ることが出来た。今後はアジア地域の異なる気候帯でのケーススタディ住宅の実現、集合住宅の実現・発展などに向けて、シミュレーション等を用いながら継続した検討を行なうことを目標とする。

図23 1次エネルギー収支

図24 消費1次エネルギー内訳

図25 電力供給量推移

図26 電力消費量推移

【謝辞】本プロジェクトは「平成 25 年度ネット・ゼロ・エネルギー・ハウスの標準化に係る調査・実証住宅」において実施したものである。実現にあたって様々な指導・技術協力・資材提供をしてくださった協力企業の方々をはじめとする関係者に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) ゼロ・エネルギー化推進室ホームページ:
<http://www.zero-ene.jp/zeh/house/> (最終確認日 2014 年 9 月 18 日)。
- 2) 石綿麻矢, 北舘寛史, 米澤星矢, 前真之, 清家剛他: エネマネハウス 2014 における『CITY ECOX-都市型集合住宅の ZEH プロトタイプ』の設計とその実証結果第 1～3 報, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1037-1042, 2014. 9
- 3) 竹村由紀, 前真之, 清家剛他: エネマネハウス 2014 における『CITY ECOX-都市型集合住宅の ZEH プロトタイプ』の提案と実践, 建築デザイン発表梗概集 2014, pp104-105, 2014. 9
- 4) 石綿麻矢, 前真之他: 日射制御と潜熱蓄熱材による住宅用ダイレクトゲイン手法の提案(第 1 報)研究概要と日射蓄熱を目的とした潜熱蓄熱材の室内設置方法に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp109-112, 2013. 9
- 5) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構: 平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説(Ⅱ住宅), 2013. 5
- 6) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構日射量データベース閲覧システム:
<http://app7.infoc.nedo.go.jp/> (最終確認日 2014 年 9 月 18 日)。

[2014 年 6 月 18 日原稿受理 2014 年 9 月 5 日採用決定]